

補助事業番号 2020M-127

補助事業名 2020年度 複合センサシステムによる環境認識とロバスト制御に基づいたAUV
の機能化デザイン補助事業

補助事業者名 慶應義塾大学理工学部 村上俊之

1 研究の概要

本事業では、従来において議論が多く行われていない小型劣駆動AUV、いわゆる水中ドローンの制御系について考察を行うため、4発ロータ型AUVをベースとしたシステム構築を検討した。小型AUVでは、水中外乱の影響を受けやすく、水中内での運動制御の高機能化が困難であるが、提案手法により同問題を改善できれば、複数台AUVによる海洋探査の高効率化が大いに期待できる。コロナ禍の影響で実機AUVを用いた実験実施は困難であったが、シミュレーションによるアルゴリズムの推進、また多自由度の模擬実験装置による力制御の新たな制御設計論については検証することができ、制御アルゴリズムの点では目的が達成できている。

2 研究の目的と背景

位置検出情報を利用したAUVの力制御を含む高機能運動制御を実現するための制御アルゴリズムを確立した。提案手法では、外乱オブザーバとトルク飽和を考慮した制御器を組み合わせることで、海洋内の非線形な外乱に対してもロバストな制御手法を実現している。一方で、AUVの制御においては、水中における自己位置推定が重要な課題の一つとなる。本研究課題では、複数センサ(加速度センサ、カメラなど)の利用による位置推定精度の向上を目指した。特に、カルマンフィルタの応用によるセンサ情報の融合のため、可変ゲインアルゴリズムを構築しベンチマークを利用した評価を行っている。

3 研究内容

(1) AUVのロバストな運動制御に関する研究

ここでは主にドローンにおける力作業時の姿勢安定化手法の提案を行っている。図1にそのブロック線図を示す。提案手法では、外乱オブザーバによる反力推定を用いた手法(提案①)と補助プロペラを用いた手法(提案②)となっているが、本研究課題では提案①の有効性について確認を行っている。アルゴリズムの検証では、AUVである水中ドローンに限定したモデル構築とシミュレーション検証を行っていないが、制御系の基本構成としてはドローンの運動制御における一般化手法として応用可能と考えている。

図1の制御器に加え、図2に新たな位置／力制御システムの構成を提案している。提案手法では、パラメータ変動を補償するために関節空間(アクチュエータ設置空間)に外乱オブザーバを導入している。また、トルク飽和を考慮するために加速度制御に基づいたPFC(Predictive Functional Control)を構築している。さらに、作業空間での力指令を位置指令に変換し、関節空間への位置指令へ変換することで、位置制御に基づいた力制御を実現している。提案手法の有効性は模擬実験装置による実機実験により確認している。提案している位置／力制御シス

テムは移動ロボットシステム全般に応用可能と考えており、今後の展開を期待したく考えている。

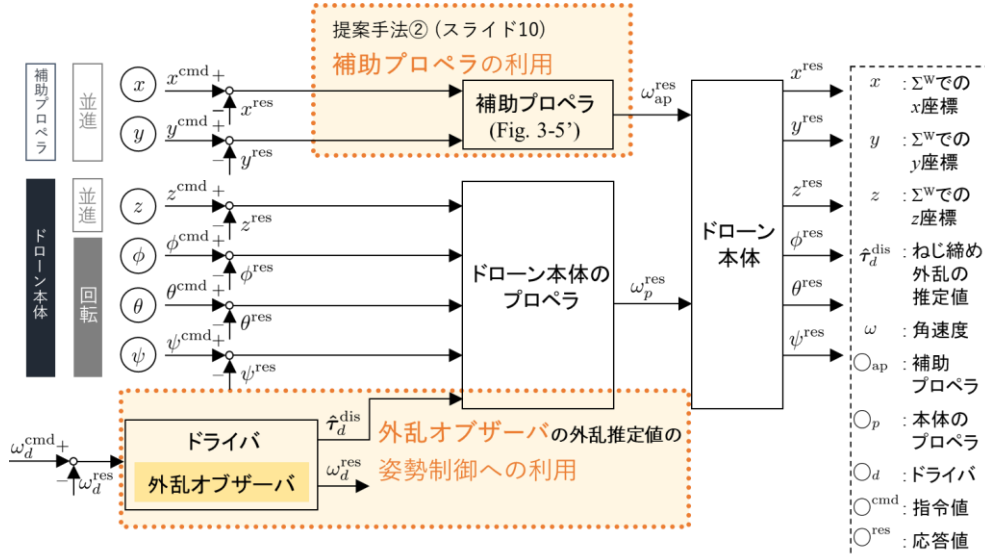


図 1 : ドローンによるドライバーネジ締め作業時の姿勢安定化の制御構成

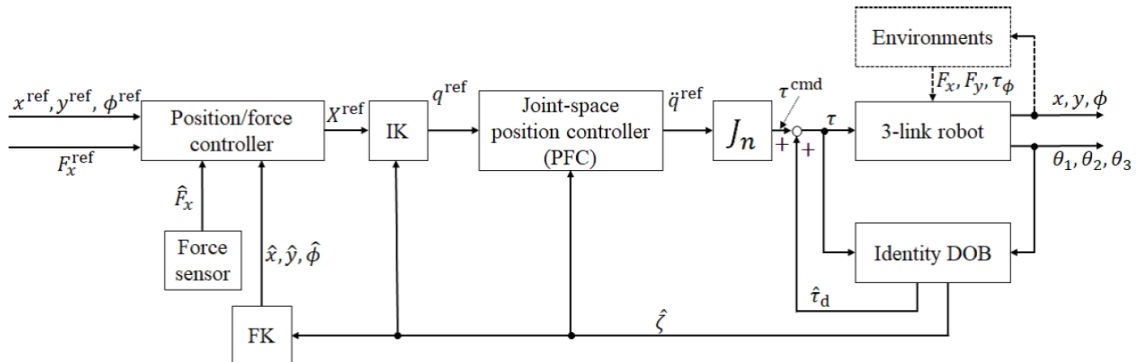


図 2 : トルク飽和を考慮した位置/力制御システム (IK : 逆運動学, FK : 順運動学)

(2) AUV の自己位置推定

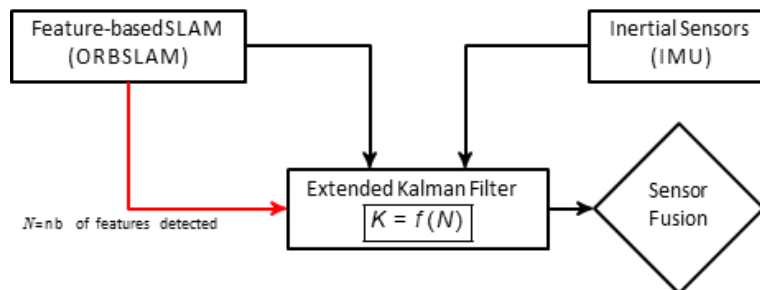


図 3 : カルマンフィルタにおけるセンサフュージョンのためのゲイン調整フロー

図3に自己位置推定のためのカルマンフィルタ構成を示している。提案手法では、画像情報とIMU(加速度情報)を融合した自己位置推定アルゴリズムを提案しており、提案手法の有用性についてはドローンを用いたベンチマークデータ(Euroc MAV dataset)を用いて確認を行っている。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

現在の社会においては様々なシステムのメンテナンスのため、その検査システムの構築が必要となっている。このようなシステムにおいて、空中あるいは海中に設置されているものも多く存在する。大型の橋においてはひび割れ等のコンクリートの状態確認のため、空中における検査が必要となり、また橋桁が海中に設置されている場合には海中での検査が必要となる。今回の課題では海中ドローンとしてAUVに着目し、環境との接触動作も考慮した姿勢安定化制御および外乱に対してロバストなトルク飽和を考慮した制御器設計手法を確立している。これらの手法は空中、海中ドローンにおいて環境との作用が必要となる実応用において大いに活用が期待できると考えている。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究課題は学術的には冗長システム、非ホロノミックシステムと呼ばれる特異なシステムの制御器設計を提案しているが、ドローンや自動車、産業用ロボットの多くがこれらのシステムに属するものであり、多くの研究者が様々な研究を行っている。また、研究代表者の所属機関でも力制御に関する研究を20年以上続けている。そうした手法の中で、本研究課題では環境との接触を考慮した位置／力制御のハイブリッド制御を中止とした課題を扱っており、得られた研究成果については検査だけではなく作業を伴う実応用において重要な位置づけになると考えている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. T. Ohhira, A. Kawamura, A. Shimada, T. Murakami, "An Underwater Quadrotor Control with Wave-disturbance Compensation by a UKF", IFAC 2020 World Congress, Germany, July 11-17, 2020.(JKA謝辞あり:AUVに関する論文, オンライン開催)
A. Hiraoka, T. Murakami, "A Standing-up Assist Control Method Considering Movement Speed", IECON2020, Singapore, October 18-21, 2020. (JKA謝辞あり:AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文, オンライン開催)
2. K. Ominato, T. Murakami, " A Stabilization Control in Two-Wheeled Walker with Passive Mechanism for Walking Support", IECON2020, Singapore, October 18-21, 2020. (JKA謝辞あり:AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文, オンライン開催)
3. K. Fukutoku, H. Masuda, T. Murakami, "Internal Sensor Based Kinematic Parameters Estimation using Acceleration/Deceleration Motion", IEEE International Conference on Mechatronics (ICM2021), Tokyo, March 7-9, 2021.(JKA謝辞あり:AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文, オンライン開催)
4. H. Masuda, K. Fukutoku, T. Murakami, "Assessment of Human Walking Stability Using the Gait Sensitivity Norm with Wearable Sensors", IEEE International Conference on

Mechatronics (ICM2021), Tokyo, March 7-9, 2021.(JKA謝辞あり:AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文, オンライン開催)

5. T. Ohhira, K. Yokota, S. Tatsumi, T. Murakami, “A Robust Hybrid Position/Force Control Considering Motor Torque Saturation”, IEEE Access, Volume 9, pp.34515 - 34528, 2021. (JKA謝辞あり:AUVの力制御に関する論文)

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

2020年度 複合センサシステムによる環境認識とロバスト制御に基づいたAUVの機能化デザイン補助事業 報告書 (13項+関連論文)

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

http://www.fha.sd.keio.ac.jp/JKA2020/2020jka_report-chukan2.pdf

http://www.fha.sd.keio.ac.jp/JKA2020/2020jka_report-final.pdf

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 慶應義塾大学 理工学部 村上俊之研究室

(ケイオウキジユクダイガク リコウガクブ ムラカミシユキケンキュウシツ)

住 所: 〒223-8522(半角)

神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

担 当 者: 教授 村上俊之(キョウジユ ムラカミシユキ)

担 当 部 署: システムデザイン工学科(システムデザインコウガクカ)

E - m a i l: mura@sd.keio.ac.jp

U R L: <http://www.fha.sd.keio.ac.jp>